Elektronica en Telecommunicatie 4

Gemeenschappelijke publikatie van de
Sectie voor Telecommunicatietechniek van het K.I.v.I. en het
Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap.
Redactie-adres: Prinsessegracht 23, Den Haag.

004.6:681.32:629.19:658.56

Zeer hoge betrouwbaarheid als onderhoud onmogelijk is [1])

door ir. G. L. Reijns, ESTEC Noordwijk



Summary: *Very high reliability when maintenançe is impossible.*
Discussed are methods to obtain very reliable electronic systems, which cannot be repaired. In addition to a very stringent quality control programme to obtain a good basic reliability, redundancy often must be applied. Different types of redundancy, their advantages and disadvantages, in particular for satellite applications, are discussed. Examples of system redundancy for digital and non-digital applications are given.

1. Inleiding

Bij de behandeling van dit onderwerp is in het bijzonder gedacht aan het gebied van de onbemande ruimtevaart; de conclusies en toepassingen vermeld in dit artikel zijn echter eveneens van toepassing op andere gebieden waar reparatie onmogelijk of zeer duur is.

Bij de ruimtevaart kan een onderscheid worden gemaakt tussen satellieten met een wetenschappelijk doel en satellieten met een direct praktisch doel. Van de eerste wordt veelal een levensduur van een half tot één jaar vereist, maar voor satellieten met een praktisch doel, zoals een communicatiesatelliet, is een langere levensduur van bijv. vijf jaren gewenst.

In ruimtevoertuigen is het nodig onderdelen van de allerhoogste kwaliteit te gebruiken. Bij complexe satellieten is het verder noodzakelijk redundantie in de systemen aan te brengen, daar anders de vereiste betrouwbaarheid niet bereikbaar is. De toepassing van redundantie resulteert in een toeneming van gewicht en vermogensverbruik. Aangezien elektrische energie in een satelliet opgewekt wordt met behulp van zonnecellen, betekent een toeneming van vermogen een uitbreiding van het zonnecellenoppervlak en dus een extra vergroting van gewicht. Het doel van een ontwerper moet daarom gericht zijn op het verkrijgen van systemen van voldoende betrouwbaarheid met een minimum toepassing van redundantie.

De sleutel tot het verkrijgen van betrouwbare onderdelen en systemen vormt het opstellen en strikt naleven van een goed kwaliteits- en betrouwbaarheidsprogramma. Alle onderdelen worden hierbij nauwkeurig gespecificeerd op betrouwbaarheid onder gedefinieerde omstandigheden van temperatuur, straling, hoog-vacuüm, vibraties, enz. Om voldoende garanties voor de kwaliteit te verkrijgen, is het veelal noodzakelijk de fabricage-omstandigheden, inspectie, het inbranden, het testen enz. van onderdelen en systemen nauwkeurig te omschrijven en de juiste uitvoering ervan te controleren.

De elektronische schakelingen dienen zodanig ontworpen te worden, dat zij goed blijven functioneren onder alle mogelijke combinaties van de gespecificeerde toleranties. Toepassing van geïntegreerde circuits en in de toekomst van 'Large Scale Integration' reduceert het aantal soldeer- of lasverbindingen, wat in principe tot een verbetering in de betrouwbaarheid leidt. Belangrijk is verder het aantal connectorverbindingspunten tot een minimum te beperken.

Een belangrijk element in het betrouwbaarheidsprogramma vormt het vaststellen van de betrouwbaarheid van de subsystemen, die gewenst is om aan de eisen van het totale systeem te voldoen, en het zoeken naar acceptabele methoden van redundantie. In paragraaf 2 zal nader worden ingegaan op de voor- en nadelen van verschillende typen van redundantie, terwijl in paragraaf 3 enkele voorbeelden van redundantie zullen worden gegeven.

2. Redundantie

2.1. Typen van redundantie

Er zijn vele typen van redundantie, waarvan sommige zijn toe te passen voor digitale en andere voor niet-digitale schakelingen. Redundantie kan worden aangewend voor onderdelen, voor digitale poortschakelingen en op hoger niveau zoals voor subsystemen en systemen. Tabel 1 geeft de voornaamste typen van redundantie en de niveaus, waarop zij kunnen worden toegepast.

[1]) Voordracht gehouden voor de Afdeling voor Elektrotechniek en de Sectie voor Telecommunicatietechniek van het K.I.v.I. tijdens de gemeenschappelijke vergadering op 11 oktober 1968 te Delft.

Een directe vergelijking tussen de betrouwbaarheidsverbeteringen van de methoden in tabel 1 is niet mogelijk, daar deze methoden niet op alle niveaus kunnen worden toegepast. In het algemeen kan worden gesteld dat redundantie de grootste verbetering in betrouwbaarheid geeft, wanneer zij wordt toegepast op het laagste niveau, d.w.z. op dat van onderdelen.

De verbetering in de betrouwbaarheid F wordt hier gedefinieerd als:

$$F = \frac{\text{kans op defect raken van het niet-redundante systeem of onderdeel}}{\text{kans op defect raken van het redundante systeem of onderdeel}}$$

Tabel 1. Typen van redundantie.

Methode	Niveau		
	Component	Poortschakeling	Subsysteem
Moore-Shannon	×	×	
Quadded		×	
Drievoudige meerderheidskeuze			×
Reservemethode			×
Parallelmethode met uitgangsschakelaar			×

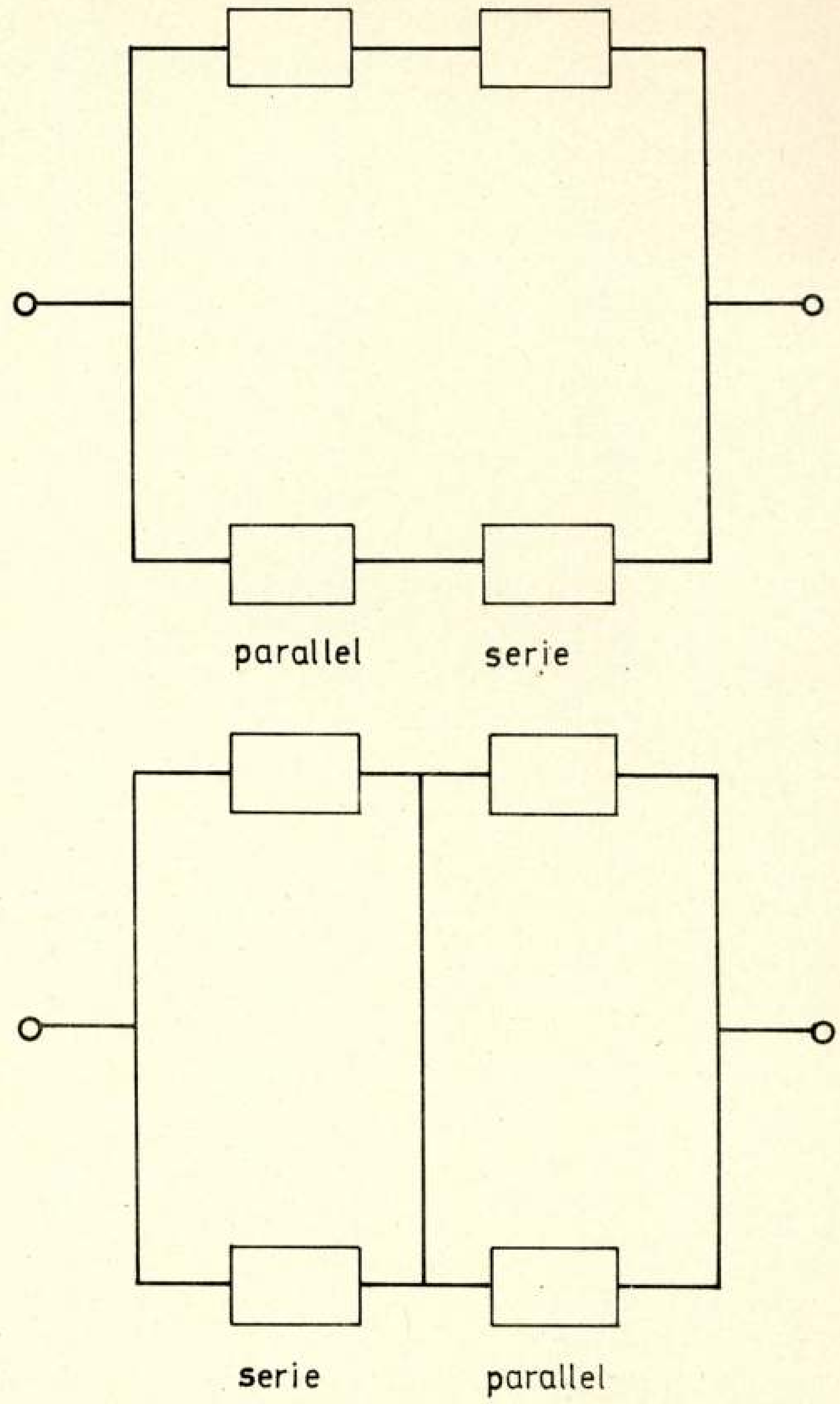


Fig. 1. Twee vormen van 'Moore-Shannon'-redundantie.

2.2. Redundantie voor onderdelen

De 'Moore-Shannon'-methode kan worden toegepast voor onderdelen, zoals weerstanden, condensatoren, dioden, transistors, relais enz. Elke component wordt bij deze methode in viervoud aangebracht, op een wijze als aangegeven in fig. 1. De serie-parallelschakeling heeft een grotere kans op onderbreking dan op kortsluiting, indien de onderdelen een gelijke kans op onderbreking of kortsluiting hebben. Voor de parallel-serieschakeling geldt het omgekeerde. De keuze, welke van de twee methoden moet worden toegepast, is dus afhankelijk van de componenten en van het feit of misschien één der beide soorten van defect raken van de redundante schakeling minder gewenst is.

Wanneer de kansen op een verbreking of kortsluiting van een component gelijk zijn aan elkaar, dan is de gezamenlijke kans op een verbreking of kortsluiting van de serie-parallelschakeling gelijk aan die van de parallel-serieschakeling en kan worden uitgedrukt door:

$Q_R = 6q^2 - 4q^3$

waarin Q_R de kans op het defect raken van de redundante schakeling en q de kans op verbreking of kortsluiting van het onderdeel is. Voor waarden van q gelijk aan 0,1, 0,01 en 0,001 worden betrouwbaarheidsverbeteringen F gevonden van respectievelijk 1,8, 16 en 166. Naarmate dus de onderdelen betrouwbaarder zijn, is een grotere betrouwbaarheidsverbetering mo-

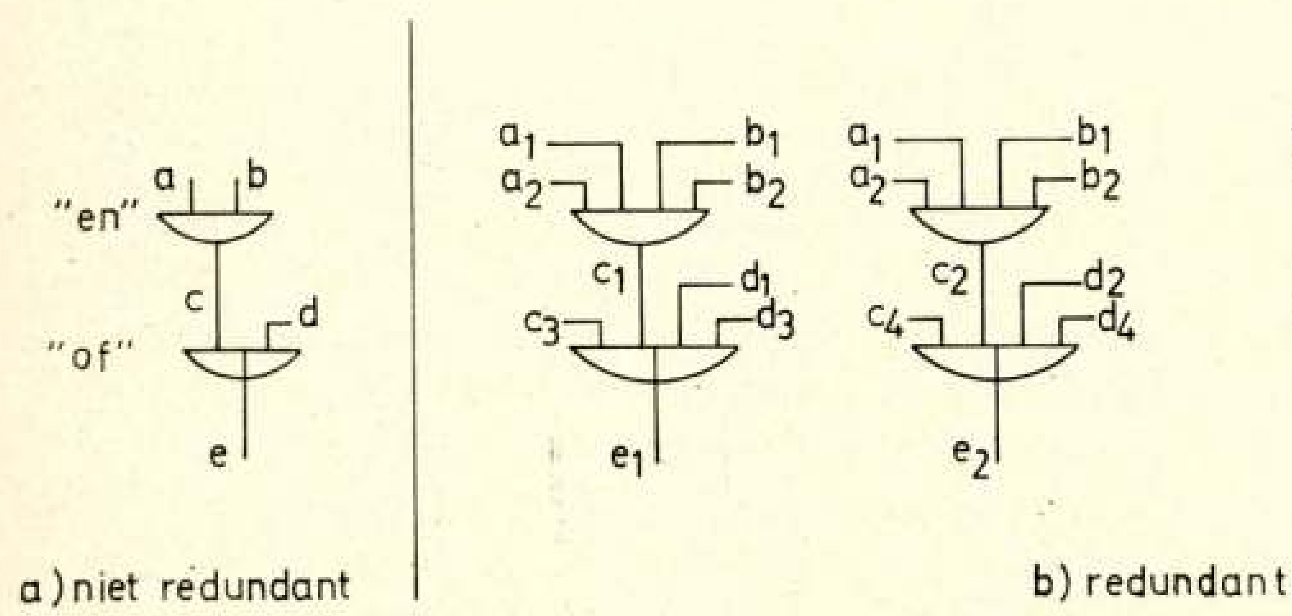


Fig. 2. 'Quadded'-methode van Tryon.

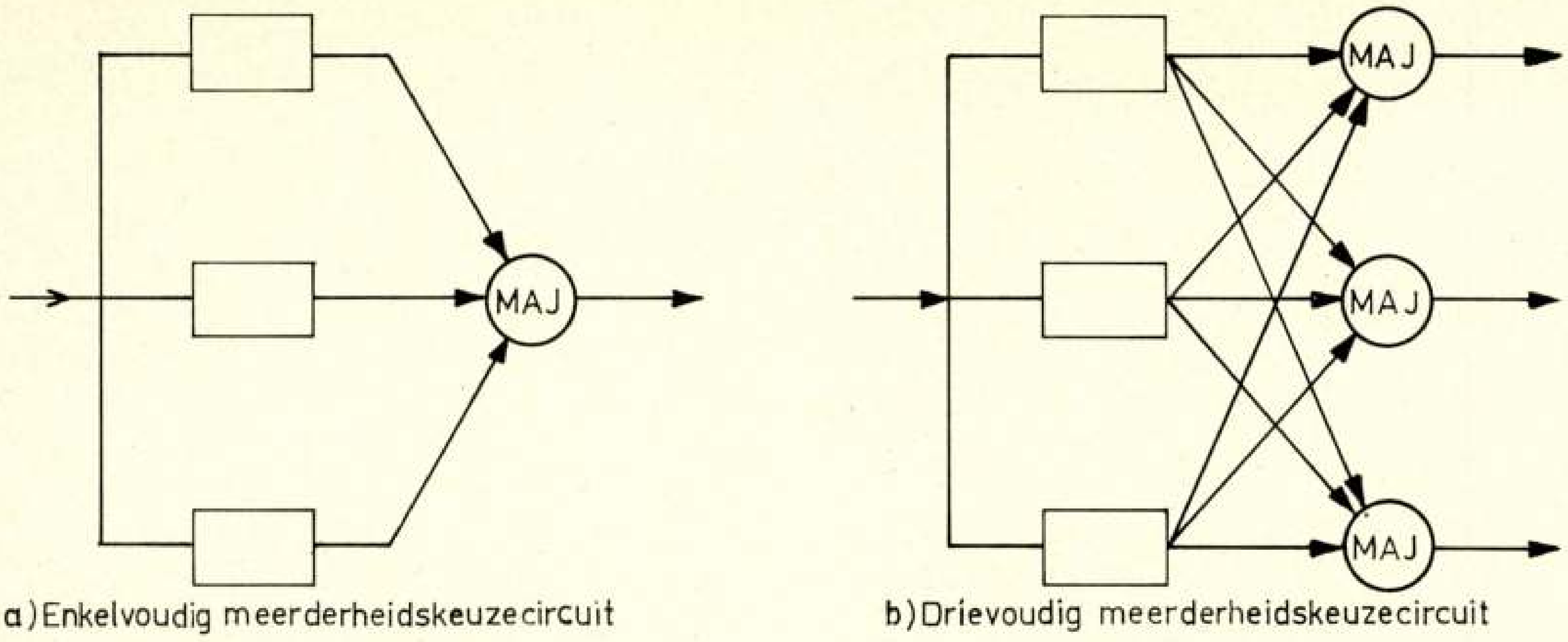


Fig. 3. Drievoudige meerderheidskeuze.

gelijk. Zoals later zal worden aangetoond, geldt dit niet alleen voor de 'Moore-Shannon'-methode maar evenzeer voor de andere methoden van redundantie.

Een bezwaar van de 'Moore-Shannon'-methode toegepast op weerstanden en condensatoren is, dat de circuits ontworpen moeten worden voor samengestelde componenten, waarvan de weerstands- of capaciteitswaarde sterk verandert bij het defect raken van de afzonderlijke componenten. Verder is het moeilijk na te gaan of alle componenten in de redundante schakeling nog werken of niet. Bij geïntegreerde circuits is dit zelfs in het geheel niet mogelijk, daar de aansluitingen van de individuele componenten niet toegankelijk zijn.

De kans, dat meer componenten van één zelfde geïntegreerd circuit slecht zijn, wanneer er één component slecht is, is vrij groot. Aangezien de componenten van een redundant onderdeel zich in het algemeen op hetzelfde geïntegreerde circuit zullen bevinden, is het toepassen van onderdelenredundantie voor geïntegreerde circuits niet erg zinvol. Onderdelenredundantie wordt daarom alleen in bijzondere gevallen bij gebruik van afzonderlijke componenten toegepast, zoals bij diodenschakelingen en bij schakelingen met capaciteiten voor gelijkspanningsafvlakking en AC-koppelingen, waarvan de tijdconstanten niet zeer kritisch zijn.

2.3. Redundantie van digitale poorten

De 'Moore-Shannon'-methode kan worden toegepast voor poortschakelingen, waarvan de uitgangen worden gevormd door transistorinvertors. Voor de 'Moore-Shannon'-methode geldt, dat het aantal benodigde componenten wordt verviervoudigd en dat de 'fan-out' viermaal wordt verkleind.

De 'quadded'-methode van Tryon kan worden toegepast voor alle typen van digitale schakelingen. Elk der elementaire poortschakelingen wordt bij deze methode verviervoudigd. Een voorbeeld van deze methode voor een schakeling waarbij een 'en'-poortschakeling gevolgd wordt door een 'of'-poortschakeling is gegeven in fig. 2. Het benodigde aantal onderdelen bedraagt bij de 'quadded'-methode ongeveer het achtvoudige van de niet-redundante schakeling; de 'fan-out' wordt een factor twee kleiner en het vermogen neemt met een factor vier of meer toe. Zowel voor de 'Moore-Shannon'- als voor de 'quadded'-methode is het zeer gewenst, dat de poortschakelingen van een redundante eenheid zich bevinden op verschillende geïntegreerde circuits.

Hoewel redundantie van poortschakelingen een zeer behoorlijke betrouwbaarheidsverbetering geeft, zijn de nadelen van

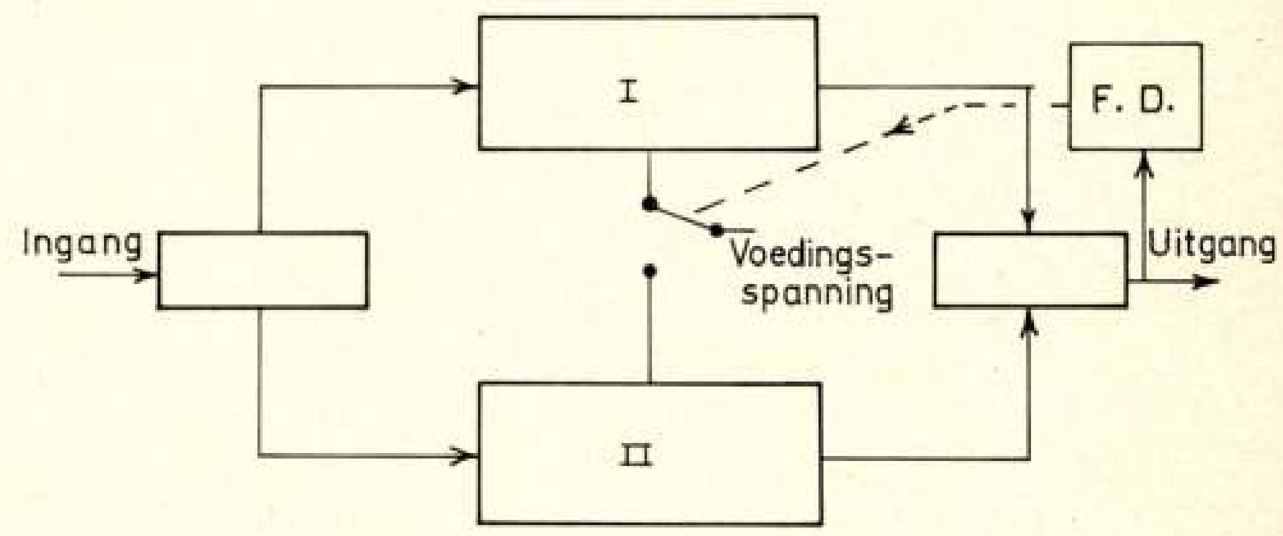


Fig. 4. Reserve-redundantie.

deze methode in het algemeen, en voor toepassing in satellieten in het bijzonder, zodanig groot, dat zij niet worden gebruikt behoudens in zeer speciale gevallen.

2.4. Redundantie op hoger niveau

2.4.1. Inleiding

Als laagste niveau in deze categorie wordt voor digitale toepassingen aan een logische combinatie van poortschakelingen gedacht, die bijv. een trekkerschakeling vormen. Combinaties van deze eenheden en zelfs volledige systemen behoren eveneens tot deze groep. Voor niet-digitale toepassingen kan bijv. worden gedacht aan een integrator, een demodulator, maar ook aan een complete ontvanger.

Van de methoden die hier besproken worden is de drievoudige meerderheidskeuze alleen toe te passen voor digitale schakelingen, terwijl de reserve- en parallelmethode zowel voor digitale als niet-digitale circuits gebruikt kan worden.

Bij de methode van drievoudige meerderheidskeuze wordt een schakeling in drievoud uitgevoerd, gecombineerd met een meerderheidskeuzecircuit (zie fig. 3a). Het geheel werkt correct, zolang twee van de drie eenheden en het keuzecircuit in orde zijn. Het keuzecircuit wordt eveneens veelal in drievoud uitgevoerd om de betrouwbaarheid nog meer te verbeteren (zie fig. 3b).

Enkelvoudige parallel- en reserve-redundantie hebben met elkaar gemeen, dat de eenheden worden gedupliceerd. Terwijl bij parallelredundantie de voedingsspanning van beide eenheden gelijktijdig is aangeschakeld, wordt deze bij de reserve-eenheid van 'standby'-redundantie pas ingeschakeld, nadat de eerste eenheid defect is geraakt. Het principe van reserve-redundantie is aangegeven in fig. 4. Wanneer eenheid I defect

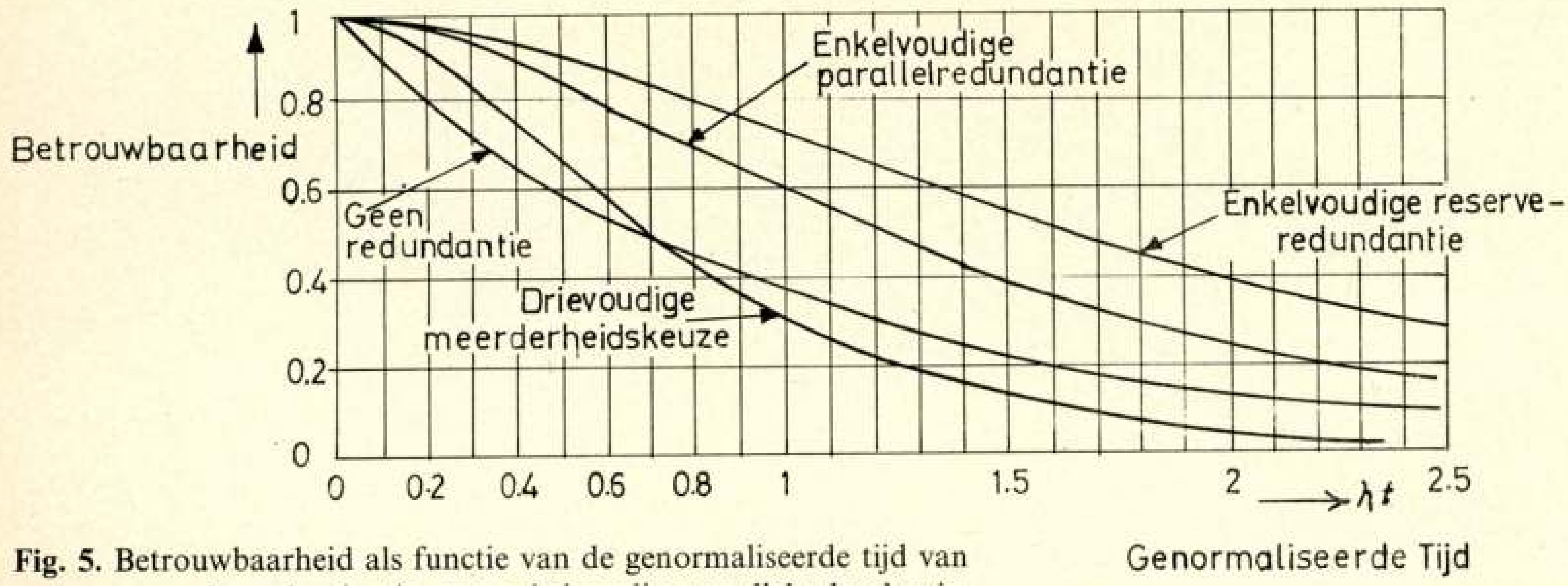


Fig. 5. Betrouwbaarheid als functie van de genormaliseerde tijd van systemen zonder redundantie, met enkelvoudige parallelredundantie, met enkelvoudige reserve-redundantie en met drievoudige meerderheidskeuze. De reserve-redundantieschakelaars en de meerderheidskeuzecircuits worden verondersteld een betrouwbaarheid = 1 te bezitten.

raakt, wordt dit gesignaleerd door de foutdetector (FD), die daarop de voedingsspanning van eenheid I overschakelt naar eenheid II.

Om een vergelijking te maken tussen de betrouwbaarheden van de drie hierboven vermelde methoden van redundantie, zijn deze, alsmede de betrouwbaarheid van de niet-redundante eenheid, in fig. 5 uitgezet als functie van de genormaliseerde tijd λt. Hierbij wordt aangenomen dat de schakelaars in het geval van reserve-redundantie en de meerderheidskeuzecircuits een betrouwbaarheid = 1 bezitten. De in de figuur aangegeven functies voldoen aan de volgende vergelijkingen:

$$R_{\text{niet-redundant}} = e^{-\lambda t}$$

$$R_{\text{reserve}} = e^{-\lambda t}(1 + \lambda t)$$

$$R_{\text{parallel}} = e^{-\lambda t}(2 - e^{-\lambda t})$$

$$R_{\text{drievoud}} = e^{-2\lambda t}(3 - 2e^{-\lambda t})$$

waarin R de betrouwbaarheid voorstelt.

Het zal duidelijk zijn, dat de aanwezigheid van niet ideale schakelaars en keuzecircuits de betrouwbaarheidsverbeteringen in de praktijk aanzienlijk kan verlagen, terwijl ook een directe vergelijking tussen de betrouwbaarheden van de verschillende methoden hierdoor wordt bemoeilijkt.

In het algemeen kan men stellen dat de circuits, die bij reserve-redundantie nodig zijn voor het bewerkstelligen van de overschakeling, gecompliceerder en daardoor minder betrouwbaar zijn dan een meerderheidskeuzecircuit. Bijgevolg wordt een optimale verbetering met meerderheidskeuze meestal verkregen op een lager niveau dan zinvol en praktisch mogelijk is voor reserve-redundantie. Om nu toch op realistische basis een vergelijking te kunnen maken tussen de betrouwbaarheidsverbeteringen van de drievoudige meerderheidskeuze, de parallel- en reservemethoden, zijn enige berekeningsvoorbeelden gegeven, toegepast op een schuifregister van geïntegreerde circuits.

2.4.2. Drievoudige meerheidskeuzeredundantie

Dit type van redundantie heeft het voordeel, in vergelijking met methoden waarbij foutendetectie en overschakeling wordt toegepast, dat bij het optreden van een defect meestal geen onderbreking in de werking plaatsvindt.

Uit fig. 5 blijkt, dat zelfs met perfecte meerderheidskeuzecircuits, de betrouwbaarheid verslechtert door toepassing van redundantie, wanneer de niet-redundante eenheid een betrouwbaarheid heeft van minder dan 0,5. Bij niet-perfecte keuzecircuits dient de betrouwbaarheid hiervan, zowel bij enkelvoudige als drievoudige uitvoering, groter dan 0,89 te zijn om een verbetering mogelijk te maken [1].

Als voorbeeld zal nu de redundantie van een schuifregister worden behandeld en wel voor het geval dat het keuzecircuit enkelvoudig en drievoudig wordt uitgevoerd. Hiertoe wordt verondersteld, dat één schuifregistereenheid (trekker + benodigde poortschakelingen) aanwezig kan zijn in één geïntegreerd circuit. Een maximale verbetering kan nu worden verkregen door op een aantal van x schuifregistereenheden één keuzecircuit aan te brengen.

Bij enkelvoudige uitvoering van het keuzecircuit geldt dan voor kleine waarden van q: [2]

$$x = \sqrt{\frac{y}{3q}}$$

waarin

y = het aantal geïntegreerde circuits ter realisering van het meerderheidskeuzecircuit.

q = kans op defect raken van één geïntegreerd circuit van schuifregister of keuzecircuit.

In de praktijk kan een keuzecircuit, inclusief een extra invertor, zich in één geïntegreerd circuit bevinden ($y = 1$).

Voor de betrouwbaarheidsverbetering geldt: [1]

$$F = \frac{1 - r}{1 - \varepsilon r^2 (3 - 2r)}$$

waarin: ε = betrouwbaarheid van het keuzecircuit $= 1 - q = e^{-\lambda t} \approx 1 - \lambda t$

r = betrouwbaarheid van x geïntegreerde circuits $= (1 - q)^x \approx 1 - x\lambda t$.

Indien voor een geïntegreerd circuit wordt uitgegaan van een uitvalsgraad λ van 10^{-7} per uur, kan tabel 2 worden samengesteld.

Tabel 2. Waarden van x, F en N berekend voor drie waarden van t voor een schuifregister met drievoudige meerderheidskeuzeredundantie en enkelvoudige keuzecircuits.

t (h)	x	F	N
$2 \cdot 10^3$	40	20	3,02
$1 \cdot 10^4$	18	9	3,05
$5 \cdot 10^4$	8	4	3,10

Het totale aantal componenten is hierbij N-maal het aantal van de niet-redundante schakeling.

Bij drievoudige uitvoering van het meerderheidskeuzecircuit geldt, dat een maximale verbetering wordt verkregen voor $x = y$. Hierbij is y het aantal geïntegreerde circuits ter realisering van een enkelvoudig keuzecircuit. Het aantal componenten bedraagt in het geval van optimale verbetering het zesvoudige van de niet-redundante schakeling. De verbetering in de betrouwbaarheid gaat echter slechts een factor twee achteruit t.o.v. de maximale verbetering, wanneer $x = 5y$ wordt genomen. Voor de betrouwbaarheidsverbetering geldt: [1]

$$F = \frac{1-r}{1-(\varepsilon r)^2(3-2r)}$$

waarbij ε de betrouwbaarheid van het enkelvoudige keuzecircuit is. Wanneer weer $y = 1$ wordt verondersteld, kan voor het geval dat $\lambda = 10^{-7}$ en $x = 5y$ tabel 3 worden samengesteld.

Tabel 3. Waarden van x, F en N berekend voor drie waarden van t voor een schuifregister met drievoudige meerderheidskeuzeredundantie en drievoudige keuzecircuits.

t (h)	x	F	N
$2 \cdot 10^3$	5	244	3,6
$1 \cdot 10^4$	5	50	3,6
$5 \cdot 10^4$	5	9,5	3,6

2.4.3. Enkelvoudige reserve-redundantie

Het principe van deze methode werd reeds aangegeven in fig. 4. Wanneer eenheid I defect raakt, schakelt de foutdetector (FD) behalve de voedingsspanning, soms ook de in- en uitgang van eenheid I naar eenheid II. In het algemeen wordt echter getracht het schakelen aan in- en uitgang zoveel mogelijk te vermijden.

Het is van belang om na te gaan, hoeveel de betrouwbaarheidsverbetering wordt gereduceerd door de kans op defect raken van de foutdetector en schakelaars. Hierbij wordt opgemerkt dat de analyse van het incorrect functioneren van een satellietsysteem op aarde kan worden uitgevoerd met behulp van de informatie, verschaft door de telemetrie. Door middel van het telecommandosysteem kan dan de gewenste overschakeling worden bewerkstelligd en een afzonderlijke foutdetector is dan niet nodig aan boord van de satelliet.

De foutdetector en bijbehorende schakelaars worden gezamenlijk het overschakelcircuit (S) genoemd. De reserveredundante schakeling houdt op goed te functioneren onder één der volgende omstandigheden:

a. Nadat eenheid I is opgehouden te werken en overschakeling naar II heeft plaatsgehad, raakt ook eenheid II defect. S blijft goed functioneren.

b. Eenheid I raakt defect en S is niet in staat een overschakeling tot stand te brengen.

c. S raakt defect en schakelt hierbij van eenheid I naar eenheid II. Hierna raakt eenheid II defect.

d. S raakt zodanig defect dat eenheid I niet langer goed kan functioneren. De foutdetector zal nu een overschakeling naar eenheid II activeren en wanneer dit succesvol gebeurt, leidt dit tot situatie c. Wanneer er geen geslaagde overschakeling plaatsvindt, houdt de redundante schakeling op te functioneren. De kans dat deze laatste situatie zich zal voordoen, wordt klein verondersteld t.o.v. de som van de kans op a, op b en op c en is in het volgende verwaarloosd.

Veronderstel, dat de betrouwbaarheidsfunctie van S gelijk is aan e^{-st} en van elk der eenheden I en II aan $e^{-\lambda t}$. De betrouwbaarheid van de redundante schakeling kan dan worden uitgedrukt door: [3]

$$R_{\text{reserve}} = e^{-\lambda t} + \lambda/s\, e^{-\lambda t}(1-e^{-st}).$$

Hierbij is verondersteld dat een eenheid niet degradeert, wanneer zijn spanning is uitgeschakeld. Opgemerkt wordt, dat de kans op het defect raken van S in de betrouwbaarheid tot uitdrukking komt, maar dat het klaarblijkelijk onbelangrijk is of bij het defect raken van S, de schakelaars op I blijven staan of naar II schakelen.

Voor kleine waarden van λt en st geldt voor de betrouwbaarheidsverbetering

$$F = \frac{2}{(\lambda+s)t} = \frac{2}{Q_1+Q_2}$$

waarin Q_1 = kans op defect raken van eenheid I of II
Q_2 = kans op defect raken van overschakelcircuit.

Het verschil in de betrouwbaarheidsverbetering tussen een systeem met een perfect overschakelcircuit en één, waarvan de betrouwbaarheid van het overschakelcircuit gelijk is aan die van de eenheden I of II, bedraagt dus een factor twee.

Als praktijkvoorbeeld is weer gedacht aan de reeds eerder behandelde toepassing van een schuifregister van geïntegreerde circuits. Verondersteld wordt, dat het overschakelen gebeurt via een telecommandosysteem. In de praktijk is het nodig, het aantal telecommando's voor het overschakelen te beperken; d.w.z. dat het niet mogelijk is de apparatuur in zeer kleine delen te splitsen en elk deel te voorzien van een eigen overschakelcircuit. Stel, dat het mogelijk is op elke 100 geïntegreerde circuits van het schuifregister een overschakelcircuit aan te brengen. Voor tabel 4 is verder aangenomen, dat de uitvalsgraad λ van een geïntegreerd circuit gelijk is aan 10^{-7} per uur en dat s gelijk is aan $5 \cdot 10^{-7}$ per uur.

Tabel 4. De betrouwbaarheidsverbetering F voor drie waarden van t voor een schuifregister met reserve-redundantie.

t (h)	F
$2 \cdot 10^3$	96
$1 \cdot 10^4$	19
$5 \cdot 10^4$	4

Het aantal onderdelen is iets meer dan het dubbele en het benodigde vermogen slechts weinig groter dan van de niet-redundante schakeling.

2.4.4. Enkelvoudige parallelredundantie

Het verschil met reserve-redundantie is, dat bij deze methode beide eenheden gelijktijdig zijn aangeschakeld. Bij parallelredundantie is het echter in vele gevallen nodig de uitgangen te schakelen.

Wanneer deze uitgangsschakelaar niet nodig is of anders perfect wordt verondersteld, kan de betrouwbaarheid van

parallelredundantie worden uitgedrukt door:

$R_p = 2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}$,

waarbij λ de uitvalsgraad van één eenheid is.

Opgemerkt wordt, dat parallelredundantie een gelijke betrouwbaarheid heeft als reserve-redundantie, wanneer het overschakelcircuit hiervan een zelfde betrouwbaarheid heeft als de eenheden I of II (zie par. 2.4.3.).

Voor parallelredundantie en kleine waarden van λt kan worden afgeleid:

$$F = \frac{1}{\lambda t}$$

Het verschil in de betrouwbaarheidsverbetering van ideale parallel- en ideale reserve-redundantie is dus een factor twee.

2.4.5. Conclusies over het toepassen van meerderheidskeuze-, reserve- en parallelredundantie

Een vergelijking tussen meerderheidskeuzeredundantie met drievoudig uitgevoerd keuzecircuit, reserve- en parallelredundantie leert, dat de betrouwbaarheidsverbeteringen in de praktijk niet ver uiteenlopen; dat echter de meerderheidskeuzeredundantie zeer in het nadeel is, wat betreft het aantal onderdelen en benodigde vermogen. Hierbij wordt opgemerkt, dat meerderheidskeuzeredundantie slechts bij digitale schakelingen kan worden toegepast en het voordeel heeft meestal geen onderbreking te geven bij het optreden van een defect.

Bij gebruik van systeemredundantie zal de keuze echter meestal beperkt blijven tot de reserve- en parallelmethode.

Toepassing van parallelredundantie dient overwogen te worden, wanneer deze methode zonder schakelen kan worden gebruikt en het extra benodigde vermogen acceptabel is. In de meeste andere gevallen zal de voorkeur gegeven worden aan reserve-redundantie.

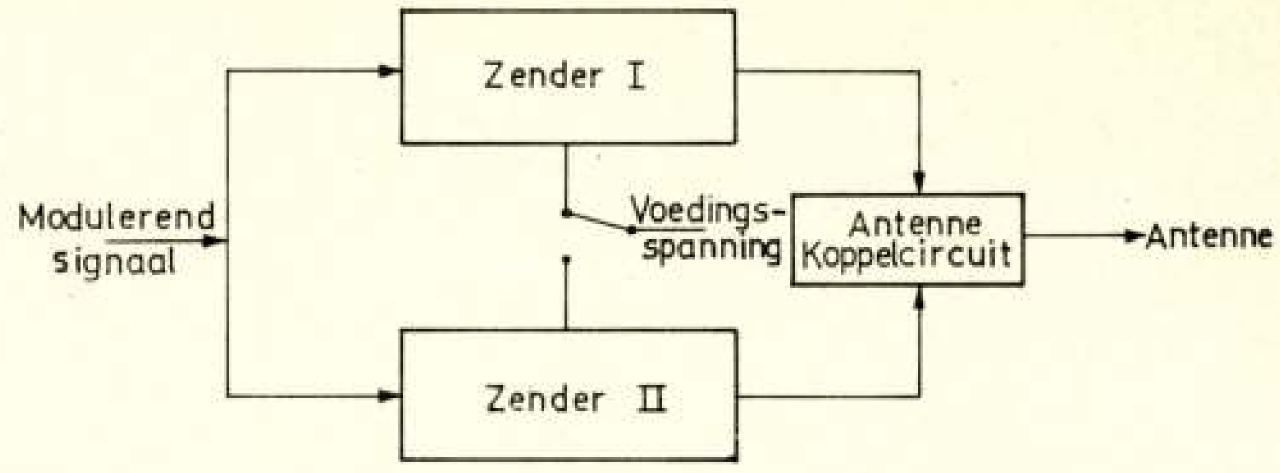


Fig. 6. Reserve-redundantie toegepast op een zenderschakeling.

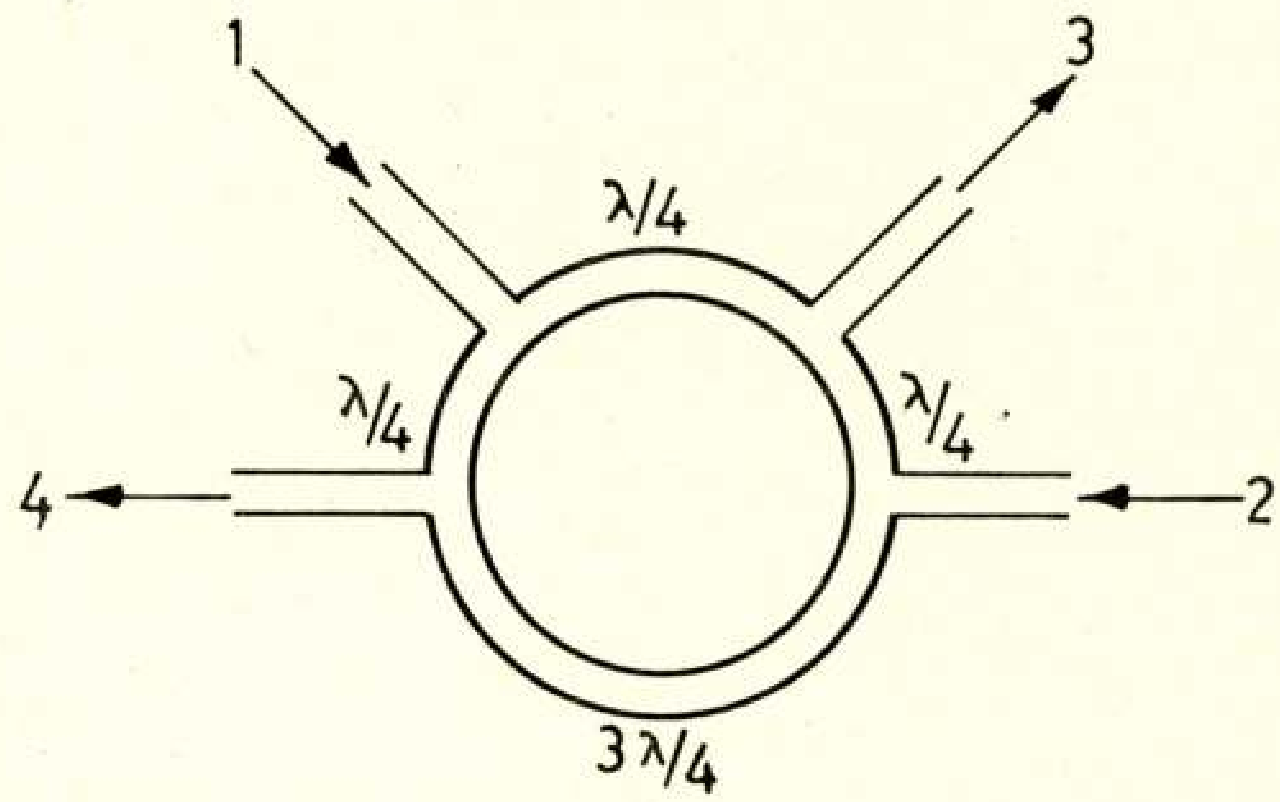


Fig. 7. 'Hybrid ring'-koppelcircuit.

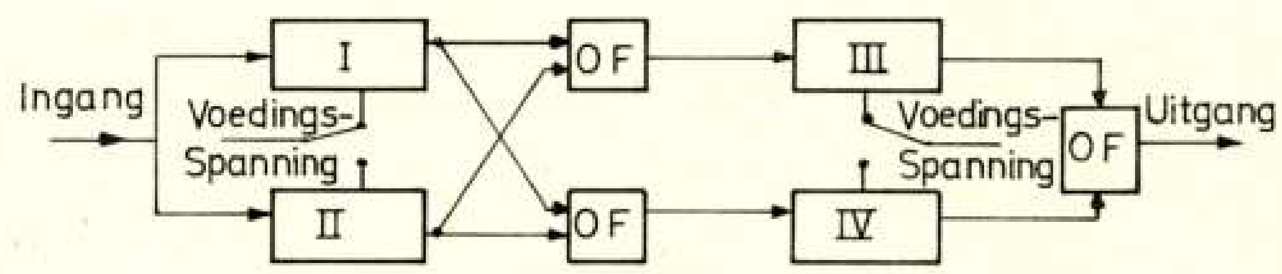


Fig. 8. Reserve-redundantie toegepast in een digitaal systeem.

3. Voorbeelden van redundantie

3.1. Telemetrie-zender

In fig. 6 is een voorbeeld gegeven van reserve-redundantie, toegepast op een zenderschakeling. Deze zender is verondersteld een oscillator, frequentievermenigvuldigers, een modulator en een eindtrap te bevatten. Het modulerende signaal wordt zowel naar de ingang van zender I als naar de ingang van zender II gebracht en de uitgangen van de zenders zijn met een antenne gekoppeld. De antenne is in dit voorbeeld gedacht te bestaan uit twee loodrecht op elkaar staande dipolen.

Een 3-dB koppelcircuit kan nu dienen voor het koppelen van de uitgangen van de zenders I en II met de beide antenne-elementen. Een voorbeeld van zo'n 3-dB koppelcircuit voor microgolffrequenties is de 'hybrid ring' van fig. 7. Ingang 1 van deze 'hybrid ring' wordt verbonden met de uitgang van zender I en ingang 2 met de uitgang van zender II. Eén antenne-element wordt verbonden met uitgang 3 en het andere met uitgang 4. De ingangen 1 en 2 zijn van elkaar ontkoppeld door het weglengteverschil van een halve golflengte tussen de twee verbindingswegen en de zend-energie van zender I of zender II wordt gelijk verdeeld over de beide antenne-elementen.

3.2. Digitale systemen

In fig. 8 is een voorbeeld gegeven van een digitaal systeem, dat in de delen I en III werd gesplitst. Vervolgens werd elk deel voorzien van een reserve-eenheid. Verondersteld werd, dat de delen I en III (en dus ook II en IV) slechts één ingang en één uitgang hebben.

Het is mogelijk de uitgangen van een digitale schakeling en zijn reserve-eenheid zonder schakelen te combineren met een eenvoudige 'of'-poortschakeling, indien de uitgang van zo'n schakeling in de binaire toestand '0' komt bij het uitschakelen van de voedingsspanning. Dit is gedacht het geval te zijn voor de eenheden I, II, III en IV van fig. 8. Terwijl de uitgangen van III en IV met één enkele 'of'-poortschakeling werden verbonden, werd in het geval van de eenheden I en II deze 'of'-poortschakeling eveneens redundant uitgevoerd.

3.3. Magnetisch kerntjesgeheugen

In fig. 9 is het besturingsprincipe van een coïncidentie-kerntjesgeheugen gegeven, dat 4096 woorden van elk 24 bits bevat. Het geheugen is samengesteld uit 24 matrices, elk van 64 × 64 kerntjes. De 4096 kerntjes zijn in een matrix aangebracht op de kruispunten van 64 horizontale en 64 verticale draden. De overeenkomstige horizontale en verticale draden van elk der 24 matrices zijn in serie verbonden.

Bij het uitlezen of inbrengen van informatie, wordt één der 64 x-draden en één der 64 y-draden bekrachtigd. Informatie wordt dan gebracht naar, of gelezen uit de kerntjes, gelegen op de kruispunten van de geselecteerde x- en y-draad in elk der 24 matrices.

Elk kerntje is doorstoken met 4 draden, nl. de x-draad,

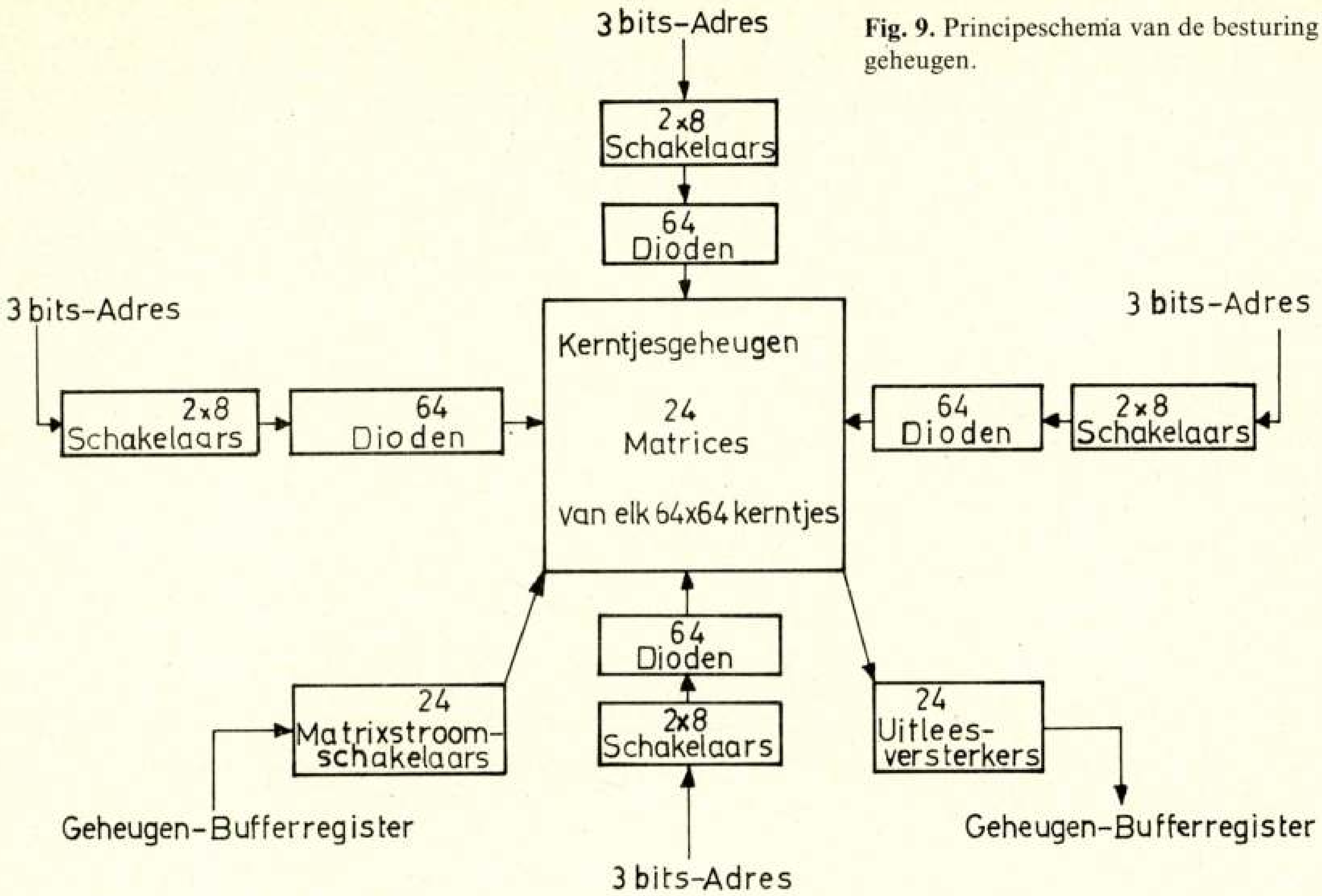


Fig. 9. Principeschema van de besturing van een magnetisch kerntjesgeheugen.

de y-draad, de leesdraad en de verhinderingsdraad. Terwijl het x- en y-selectiesysteem gemeenschappelijk is voor alle matrices, heeft elke matrix zijn eigen leesdraad en verhinderingsdraad, die door alle kerntjes van een matrix zijn geweven. Elke leesdraad is verbonden met een leesversterker en elke verhinderingsdraad met een stroomschakelaar. De selectie van één x-draad gebeurt door het bekrachtigen van één der 8 linkerschakelaars en één der 8 rechterschakelaars. Elke schakelaar is dubbel uitgevoerd om stromen in beide richtingen door de draad te kunnen sturen, nodig voor het lezen en schrijven.

Om een defect in één der 24 leesversterkers of 24 matrixstroomschakelaars te overwinnen, wordt het aantal matrices met één uitgebreid tot 25. Wanneer nu een defect in een bepaalde leesversterker of matrixstroomschakelaar optreedt, wordt de informatie, bestemd voor de bijbehorende matrix gebracht naar de 25e matrix. Dit kan bijv. gebeuren door het geheugenbufferregister, dat verbonden is met de matrixstroomschakelaars en leesversterkers, uit te voeren als schuifregister. Door de informatie in dit schuifregister rond te schuiven, wordt het mogelijk de gewenste bit op het juiste moment uit het schuifregister te lichten en naar de 25e plaats te brengen. Deze methode kan alleen worden toegepast als voldoende tijd voor het schuiben beschikbaar is.

Om redundantie aan te brengen in het y-selectiesysteem, wordt bijv. naast elke matrix een reservematrix van 64×64 kerntjes aangebracht. De reservematrices worden voorzien van een eigen y-selectiesysteem, dat gelijk is aan het reeds aanwezige y-selectiesysteem. De x-draden van de matrices en reservematrices kunnen in serie worden verbonden, waardoor het x-selectiesysteem in principe ongewijzigd kan blijven. De beide leesdraden en verhinderingsdraden van een matrix en zijn reservematrix kunnen eveneens in serie worden geschakeld, waardoor het aantal leesversterkers en matrixschakelaars niet behoeft te worden uitgebreid.

Wanneer nu tevens redundantie gewenst is voor het x-selectiesysteem, kan dit gebeuren, zonder verdere uitbreiding van het aantal kerntjes, door splitsing van het x-selectiesysteem in twee onafhankelijke delen, die elk 1 uit 32 draden kunnen selecteren.

Bij het uitvallen van één helft van het x-selectiesysteem kan dan met behulp van beide y-selectiesystemen en de overgebleven helft van het x-selectiesysteem verder worden gewerkt.

Literatuur

[1] G. Huffman and J. Billings: Redundant microelectronic 1023 countershiftregister. Proceedings Amer. Astronautical Soc. Science and Techn. Series, Vol. 6, 1965.

[2] M. Longden, L. J. Page and R. A. Scantlebury: An assessment of the value of triplicated redundancy in digital systems. Microelectronics and Reliability, Vol. 5, 1966.

[3] L. A. Aroian: Reliability of items in sequence with sensing and switching. Pag. 318 of Redundancy Techniques for Computing Systems, (Spartan books 1962) edited by R. H. Wilcox and W. C. Mann.

004.6:623:389.6

Het verkrijgen van bedrijfszekere apparatuur en componenten. Internationale aspecten [1])



door ir. E. W. J. Bruins, Ministerie van Defensie, Den Haag

Summary: *Reliable electronic equipment and components: international aspects.*
Complicated electronic systems require high availability, which makes it necessary to calculate the reliability of the electronic equipment, for which among others the failure rate of the component parts used, must be known.

The necessity to provide military forces with electronic equipment which even under the most extreme circumstances operates satisfactory, did lead to exactly formulated specifications and extensive testing, for equipment as for electronic component parts, which however does not give sufficient guarantee for adequate performance for all purposes. The article has in view to give a survey of actions to obtain an improvement of the reliability.

Inleiding

Welke maatregelen moet men nemen om te bereiken dat apparatuur op het moment dat men haar wil gebruiken voldoet aan de eisen die men aan haar gesteld heeft?

Laat ik voorop stellen dat het niet mogelijk is 100% zekerheid te verkrijgen dat de apparatuur op het gewenste moment feilloos werkt. Een zo goed mogelijke benadering tracht men echter te verkrijgen door een heel gamma van maatregelen en bepalingen waarop ik hieronder verder zal ingaan en waarbij ik mij zal baseren op militaire elektronische apparatuur waaraan een zeer hoge bedrijfszekerheid wordt gesteld onder vaak zeer moeilijke omstandigheden.

Achtereenvolgens zal ik hierbij behandelen:
- specificaties;
- mechanische en klimatologische beproevingen;
- constructievoorschriften;
- componenten waaruit de apparatuur is samengesteld;
- specificatiesystemen;
- harmonisatie van Europese specificaties;
- Nederlandse situatie.

Hoewel men in vroeger tijden veelal volstond met een summiere opsomming van wat men van apparatuur verwachtte, werden al spoedig eisen geformuleerd welke met de ontwikkeling der techniek steeds nauwkeuriger konden worden vastgelegd. De militaire uitrusting werd aan de technische mogelijkheden aangepast terwijl omgekeerd de steeds zwaardere eisen nieuwe technische ontwikkelingen stimuleerden.

De specificatie

Een scherp geformuleerde en nauwkeurig opgestelde specificatie vermeldende de technische eisen met hun toleranties, de afkeurcriteria, de meetmethoden waarop geconstateerd wordt of aan deze eisen wordt voldaan alsmede een aantal additionele richtlijnen voor de fabrikant, vormen een eerste vereiste om bedrijfszekere apparatuur te verkrijgen. Een opsomming van functionele eisen bleek al spoedig niet voldoende te zijn. De apparatuur wordt immers gebruikt onder extreme omstandigheden in verschillende klimaatzones, waardoor zij veelal blootgesteld wordt aan hoge en lage temperaturen, aan vocht en stof, aan trillingen en schokken enz., terwijl de bediening niet altijd even deskundig kan geschieden. Daarnaast komt ook opslag voor in magazijnen gedurende langere tijd waardoor verouderingsverschijnselen kunnen optreden die de bedrijfszekerheid ongunstig beïnvloeden.

Om nu zo groot mogelijke zekerheid te krijgen dat de militaire elektronische apparatuur onder alle bedrijfsomstandigheden aan de gestelde functionele eisen zal blijven voldoen werd een aantal mechanische en klimatologische beproevingen vastgesteld waaraan een klein aantal van het prototype wordt onderworpen. Doorgaans neemt men later nog enkele toestellen uit de serieproduktie. Metingen vóór en nà deze gedeeltelijk destructieve beproevingen geven het verloop van de eigenschappen aan. De toelaatbare afwijkingen zijn tevoren in de specificatie vastgelegd.

Om een indruk te geven van deze beproevingen is in tabel 1 een overzicht gegeven van de tests zoals zij voor grondapparatuur, welke in het veld gebruikt wordt, vastgesteld zijn in het Engelse voorschrift DEF 133. Dit voorschrift is ontstaan in de tweede wereldoorlog en wordt ook in Nederland toegepast.

Ik wil hierbij opmerken dat de uit te voeren beproevingen alsmede de hierbij toe te passen getalwaarden (temperatuur, frequentie, amplitude enz.) in de specificatie worden voorgeschreven. Voor een volledige verklaring van de uit te voeren beproevingen moge ik verwijzen naar de Defense Specification DEF 133 dd. February 1963 + Amendment 1 (August 1967).

Keuring en beproeving

Het zal duidelijk zijn dat alle toestellen gemeten worden op hun functionele eigenschappen. Vroeger werd veelal volstaan met de overname-metingen, later controleerde men ook in de produktielijn. Volgens de nieuwste zienswijze dient de fabrikant zijn hele kwaliteitscontrolesysteem ten genoege van de militaire kwaliteitszorg-ambtenaren in een fabrieksvoorschrift te beschrijven en de apparaten uiteindelijk aan te bieden met de meetstaten waarin de door de fabrikant uitgevoerde afnamemetingen staan genoteerd.

Het voldoen aan alle voorgeschreven elektrische eisen, alsmede het doorstaan van de mechanische en klimatologische beproevingen gaf toch nog niet voldoende zekerheid dat de apparatuur aan de gestelde verwachtingen zou voldoen. Nieuw ontwikkelde apparatuur wordt daarom veelal te velde door een

[1]) Voordracht gehouden voor de Afdeling voor Elektrotechniek en de Sectie voor Telecommunicatietechniek tijdens de gemeenschappelijke vergadering op 11 oktober 1968 te Delft.

Tabel 1. Table L.3 'Ground Equipment, Exposed and Immersible' uit DEF 133 d.d. februari 1963.

Nr.	Cl.	Naam	Onderzoek op invloed van	Uitvoering	Temp.	Relatieve vochtigheid	Tijd	Opmerkingen
1	6.1	Visual Examination	beschadiging en fouten in montage	visueel				
2	8.1	Resonance Search Test	resonantie	op triltafel in 3 loodrecht op elkaar staande richtingen				Frequentie: 1-100 Hz Amplitude: 10 in max. met of zonder 'mountings'
3	8.2	Vibration Functional Test	vibratie	op triltafel in 3 loodrecht op elkaar staande richtingen; apparatuur *in* bedrijf				Frequentie: 1-100 Hz Amplitude: 10 in max. met of zonder 'mounting'
4	8.3	Vibration Endurance Test	langdurige trillingen	op triltafel			10 uur	maximaal 2 h op 1 resonantiefrequentie (proef 2)
5	11.0	Dry Heat Test	hoge temperatuur	temperatuurkast	55 °C 70 ° C	5-60%	16 uur	2 tests bij 55 °C of 70 °C
6	11.1	Damp Heat Test	temperatuurverschillen waarbij verzadiging optreedt	temp. vochtkast	40 °C 25 °C	95%	19 uur	1 cyclus: 20 h met functionele tests
7	12.0	Low Temperature Exposure Test	lage temperatuur	temperatuurkast	−55 °C −40 °C		16 uur of meer	2 tests
8	12.2	Low Temperature/ Low Pressure Test	lage temperatuur en druk	temp. drukkast	−40 ° C			bij 280 mmHg
9	11.1	Damp Heat Test	temperatuurverschillen waarbij verzadiging optreedt	temp. vochtkast	40 °C 25 °C	95%	19 uur	
10	15.5	Sealing Test (Pressure)	afdichting bij inwendige overdruk	met droge lucht of stikstof	onder toegest. bedrijfs-temp.			zie specificatie
11	15.1	Driving Rain Test	regen	sproei-installatie	22 °C		1 uur	druk: 30 lb/in^2 100 gal/h
12	15.3	Immersion Test	onderdompeling	tank	15° water 25° toest.		2 uur	5 tests, van 6 in tot 20 ft onder water
13	11.0	Dry Heat Test	hoge temperatuur	temp. kast	55 °C	5-60%	16 uur	
14	10.1	Driving Dust Test	stof in lucht	stofverstuivingskamer	35 °C	60%	2 uur	per min 6,8 g stof
15	10.2	Driving Sand Test	zand in lucht	zandverstuivingskamer	35 °C	60%	2 uur	per min 6,8 g zand
16	11.1	Damp Heat Test	temperatuurverschillen waarbij verzadiging optreedt	temp. vochtkast	25 °C 40 °C	95%	19 uur	16 h: 40 °C 3 h: 25 °C functionele tests

Nr.	Cl.	Naam	Onderzoek op invloed van	Uitvoering	Temp.	Relatieve vochtigheid	Tijd	Opmerkingen
17	11.2	Tropical Life Test	tropenbestendigheid	temp. vochtkast	20-35 °C	95%	24 uur	aantal cyclussen in specificatie
18	11.3	Mould Growth Test	schimmelvorming	temp. vochtkast	29 °C	95%	28 dagen	
19	14.0	Corrosion Test, Salt	zout water	sproeikamer	35 °C	90%	7 dagen	4 cyclussen (28 dagen)
20	14.1	Corrosion Test, Acid	zwavelzuur	sproeikamer	35 °C	90%	7 dagen	4 cyclussen (28 dagen)
21	14.2	Corrosion Test, Alkaline	kaliumhydroxyde	sproeikamer	35 °C	90%	7 dagen	4 cyclussen (28 dagen)
22	14.3	Contamination Test	mengsel van paraffine benzine, e.a. vetten	sproeikamer	50 °C		48 uur of meer	
23	7.1	Drop Test	vrije val	op staalplaat				valhoogte: 1 in
24	7.4	Toppling Test	tuimeling	op staalplaat				aantal in specificaties te vermelden
25	7.0	Bump Test	schokken	schoktafel			2 tot 4 Hz	A: 4000 schokken B: 5500 schokken valhoogte 1 in
26	7.3	Shock or Impact Test	stoten	valhamerproef				2 tests: A: buiten bedrijf B: in bedrijf 3 × 2 slagen van 400 lb vanaf 5 ft vallend onder verschillende hoeken
27	7.2	Packaging Information	transportbestendigheid	valproefmachine voor verpakking				schokken met versnelling oplopend van 25 *g*, 35 *g*, 50 *g* tot 70 *g*.
28	6.1	Visual Examination	beschadiging en fouten in montage	visueel				

troepeneenheid beproefd op zijn functionele eigenschappen. Mits hierbij de voorgeschreven beproevingen onder militair technisch toezicht worden uitgevoerd, kunnen waardevolle aanvullende gegevens verkregen worden, waardoor het mogelijk is de specificatie alvorens de serieproduktie wordt gestart, nog aan te passen. Tevens komen bij de troepenbeproeving veelal bedieningsproblemen naar voren, als te kleine bedieningsknoppen, moeilijke instelling, schaalaflezing, ijking, enz. 'Human Engineering' (Ergonometrie) wordt derhalve nu mede in de specificatie in beschouwing genomen, daar uiteindelijk ook de bedieningsmogelijkheid grote invloed op de bedrijfszekerheid uitoefent.

Tot slot zou ik nog willen opmerken dat voor apparatuur welke in voertuigen wordt gebruikt een rijproef van ca. 1000 km over zo mogelijk keiwegen zwaarder is gebleken dan de schokken en trillingen welke in het laboratorium worden uitgevoerd.

Constructie

De oorzaken van de voorkomende storingen worden geweten aan het ontwerp, de toegepaste onderdelen en de wijze van constructie. Vooral de laatste is van zeer grote invloed op de bedrijfszekerheid van apparatuur welke veelal aan ruwe behandeling wordt onderworpen. Men moet eerst zelf hebben meegemaakt hoe toestellen gebruikt worden om een indruk te kunnen hebben of een constructie al dan niet bruikbaar zou kunnen zijn. Om nu de constructeur hierbij behulpzaam te zijn is in Nederland een constructievoorschrift voor elektronisch

materieel samengesteld aan de hand van ervaringen opgedaan in de praktijk, waarin de constructeur richtlijnen kan vinden betreffende toe te passen constructiemethoden welke in de praktijk bruikbaar zijn gebleken. Zo vindt men hierin o.a. gegevens betreffende ontwerpprincipes, materiaalkeuze, constructies enz. Het voorschrift draagt het nummer MMR-27 en wordt uitgegeven door de Materieelraad ten behoeve van ontwerpers van militaire apparatuur.

Al deze maatregelen worden genomen om de bedrijfszekerheid te vergroten. Een tegenwoordig veel gebruikt criterium is de

$$\text{Availability} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF}+\text{MTTR}} \cdot 100\%$$

MTBF = Mean time between failures
MTTR = Mean time to repair
} beide uitgedrukt in uren.

Onderdelen

Om nu de MTBF te kunnen berekenen is het nodig gegevens van de bedrijfszekerheid van de elektronische onderdelen te kennen. Onder elektronische onderdelen wordt volgens definitie in de NATO verstaan alle onderdelen welke niet meer gedemonteerd kunnen worden, althans dan geen reden van bestaan meer hebben. Hieronder vallen onder meer elektronenbuizen, half geleiders, weerstanden, condensatoren, pluggen, schakelaars, servomotoren, relais, zekeringen, kabels en tegenwoordig ook geïntegreerde schakelingen

Om een indruk te krijgen welke aantallen onderdelen jaarlijks verbruikt worden zou ik willen verwijzen naar het tijdschrift 'Electronics', dat omstreeks de jaarwisseling steeds een overzicht geeft van de 'Electronic Markets' zowel voor wat betreft apparatuur als onderdelen. Voor 1968 wordt in de USA het verbruik aan onderdelen geschat op een kleine 7200 miljoen dollar. Voor alle West-Europese landen wordt dit geschat op ruim 2620 miljoen dollar waarvan Nederland 159 miljoen dollar zou verbruiken. Voor elektronenbuizen wordt het verbruik nog gesteld op ca. 19 miljoen dollar, halfgeleiders hebben het al gebracht tot 13 miljoen, doch integrated circuits komen net over de 2 miljoen dollar. Voor weerstanden en condensatoren zijn de getallen ca. 5 en 9 miljoen dollar.

Specificatiesystemen

Ook uit standaardisatie-overwegingen werd men al spoedig gedwongen tot het opstellen van specificaties voor onderdelen. In de USA werd vooral in en na de tweede wereldoorlog een nauwkeurige studie gemaakt van elektronische onderdelen en ontstonden, evenals dit voor apparatuur het geval is, uitvoerige specificaties welke de elektrische metingen en beproevingen voorschrijven waaraan het onderdeel moet voldoen om in militaire apparatuur gebruikt te mogen worden. Dit 'US MIL system' is een compleet systeem waarvan alle andere systemen zijn afgeleid. In Frankrijk kent men het CCTU, in Engeland het BS 9000 systeem.[2])

Alle systemen stellen:
- elektrische eisen;
- mechanische en klimatologische beproevingen;
- duurproeven;
- voor sommige onderdelen langdurige proeven ter bepaling van de bedrijfszekerheid uitgedrukt in de 'failure rate' in procenten per 1000 uur.

[2]) BS 9000 is de thans meer gebruikte aanduiding van het 'System of Common Standards'.

Tabel 2. Beknopt overzicht samengesteld uit MIL-STD-202C van september 1963. De zwaarte van de testcondities wordt in de produktspecificatie voorgeschreven. Voor de tabel is slechts een keuze gemaakt uit de mogelijkheden.

MIL-STD-202 (SIMPLIFIED)	
Salt spray	35 °C, 48 h
Temperature cycling	−65° ↔ + 125 °C, 5 cycles, 90 min each
Humidity	40°, 95% RH, 240 h
Immersion	65° and 25 °C, 15 min each
Barometric pressure	9,436 × 10^{-8} in of mercury
Moisture resistance	65° ↔ 25° ↔ −10 °C, 90–98% RH, 10 cycles 24 h
Thermal shock	−55° ↔ + 85 °C airstream min ½ hr 5 cycles
Life	70°, min 96 h, max. 50 000 h
Explosion	
Sand and dust	velocity 100 to 500 ft/min 6 h
Flammability (external flame)	propane torch, 15 s
Seal	bubble test in mineral oil, or, tracer gas test 10^{-6} atm cc/s
Vibration	10 to 55 Hz and return in 1 min; 2 h in 3 directions
Shock	30 to 100 G as specified
Vibration, high frequency	10 ↔ 2000 Hz in 20 min 12 × 3 cycles
Shock impact	15 G, 3 × 6
Life rotational	360° and return, 500 cycles, cycle rate as specified
High-impact shock	hammer of 400 lb from 5 ft high, 9 shocks
Solderability	dip in solderpot
Radiographic insp.	X ray
Resistance to soldering heat	5 s
Terminal strength	pull bend twist torque as specified

In het algemeen geldt dat nadat een specificatie is opgesteld, hetgeen doorgaans in samenwerking met de fabrikant geschiedt, eerst typegoedkeuring (Qualification Approval, QA) moet worden verkregen alvorens dit onderdeel voor militaire toepassing in aanmerking komt. Hiervoor is het nodig alle in de specificatie voorgeschreven metingen en beproevingen uit te voeren. Doorgaans geschiedt dit bij de fabrikant onder toezicht van de militaire keuringsambtenaar. Indien de uitslag gunstig is, d.w.z. aan alle proeven volledig is voldaan, volgt uitreiking van een certificaat en opname op de lijst van typegoedgekeurde artikelen, de zgn. 'Qualified Products List' (QPL), welke ten dienste van de constructeurs van elektronisch materieel uitgegeven wordt. De typegoedkeuring garandeert alleen dat de fabrikant in staat is gebleken een produkt conform de specificatie te maken. Het is derhalve noodzakelijk de serieproduktie te controleren op gelijkvormigheid met de prototypen.

In de USA wordt voor overheidsopdrachten continue produktiecontrole uitgeoefend door 'Resident Inspectors' die op de fabriek geplaatst zijn. In Frankrijk kent men sinds 1962 de 'Contrôle Centralisé de Qualité', in Engeland voert men het 'System of Common Standards' in dat een controle voorschrijft min of meer gelijk aan die in de USA.

In Nederland kent men wel de typegoedkeuring, welke wordt verleend door de Materieelraad. Een produktiecontrole als in de bovengenoemde landen is echter (nog) niet ingevoerd.

Hoewel de specificaties voor militaire doeleinden zijn opgezet wordt voor civiele professionele apparatuur hier ook veelal gebruik van gemaakt, vooral in Frankrijk en Engeland, waar ook voor overheidsopdrachten deze specificaties zijn voorgeschreven.

In onderdelenspecificaties worden uiteraard ook mechanische en klimatologische beproevingen voorgeschreven. Een vereenvoudigd overzicht is weergegeven in tabel 2. De MIL-Standard 202 is voor US-specificaties opgesteld doch wordt ook gevolgd door Frankrijk en Engeland, zij het dat hierbij soms afwijkende proeven worden voorgeschreven.

Ter informatie moge nog dienen dat de totale tijdsduur gemoeid met het uitvoeren van de typekeuring gesteld kan worden op minstens 3 maanden. Het blijkt moeilijk te zijn een onderdeel te vervaardigen dat aan alle eisen voldoet, indien men niet over een uitgebreide ervaring beschikt.

Extra gegevens

Toch is gebleken dat ook de normale MIL-specificatie nog niet aan alle bedrijfszekerheidseisen tegemoet komt. Derhalve zijn nu nieuwe specificaties ontworpen waarbij men de bedrijfszekerheid wil vastleggen. De constructeur kan dan een keuze maken uit 'Established Reliability'-onderdelen gemaakt volgens 'ER-specs', waarbij een klasseverdeling is gemaakt in L, M, P, R en S welke een 'failure-rate' garanderen van respectievelijk > 1, 0,1, 0,01, 0,001, 0,0001 procent per 1000 uur. Het behoeft geen betoog dat deze onderdelen vooral in de hogere klassen zeer kostbaar zullen zijn.

Een ander type specificaties in de USA zijn de zgn. 'Test-Extra specifications' (TX-specs). Deze kennen als 'extra' een zekere inbrandperiode voor de gehele produktie, waardoor de kinderziekten geëlimineerd worden.

In verband met de regeringsopdrachten voor ruimtevaartdoeleinden bleek het noodzakelijk over nog meer gegevens van elektronische onderdelen te kunnen beschikken. Het 'US Department of Defense' heeft daartoe in 1959 besloten over te gaan tot oprichting van het 'Interservice Data Exchange Programme' (IDEP), waarbij aan ca. 200 aangesloten industrieën

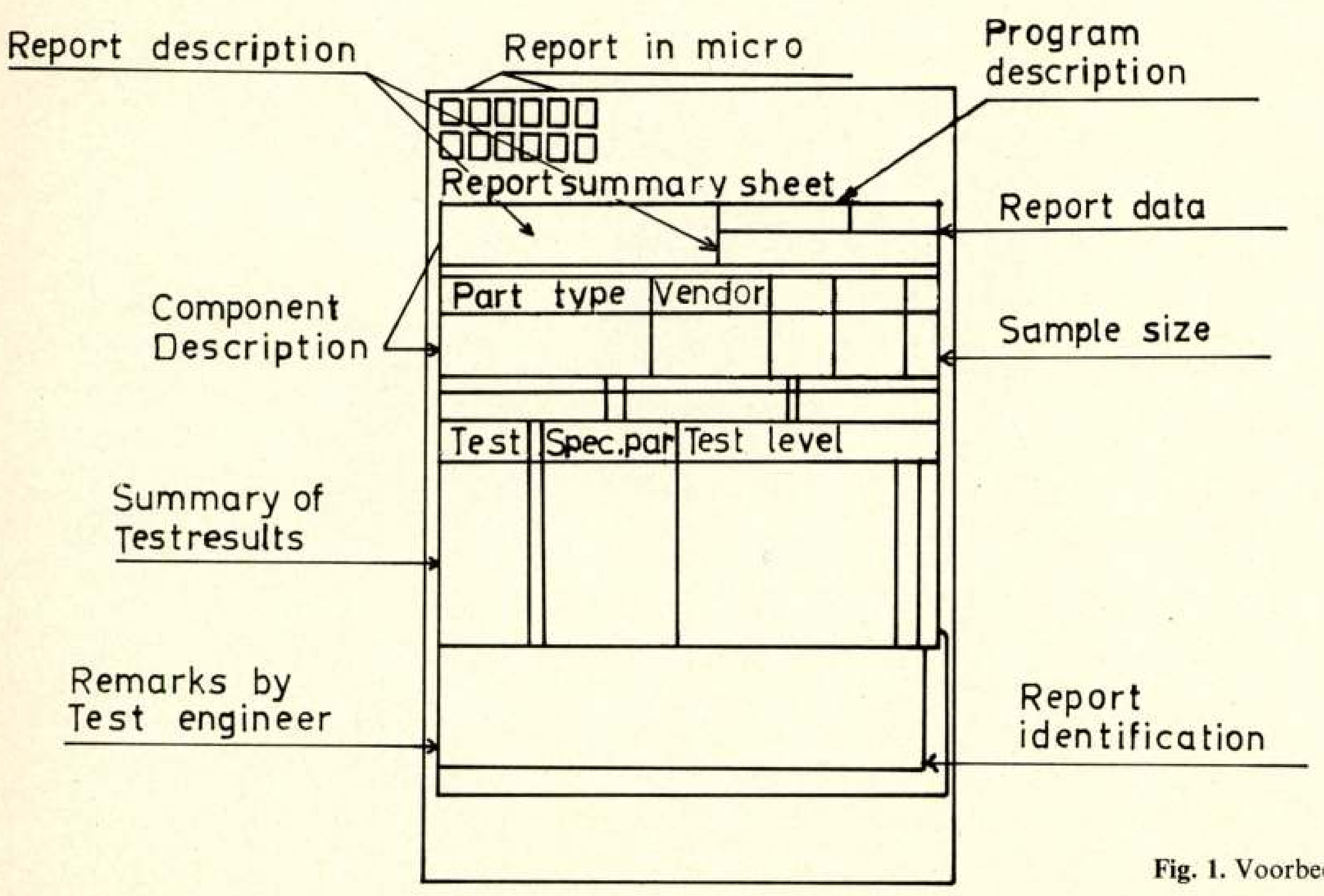


Fig. 1. Voorbeeld van een IDEP-'data sheet'.

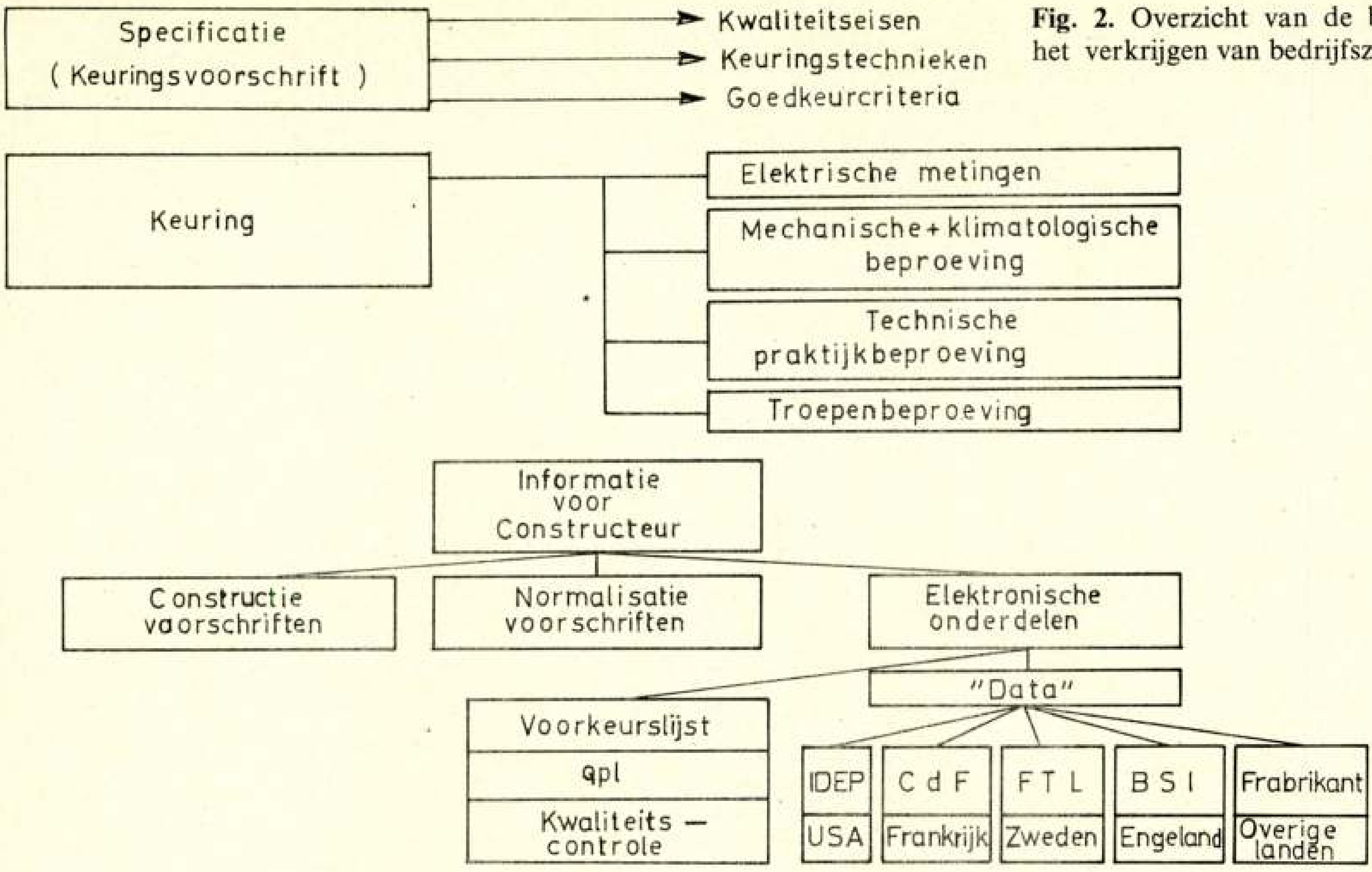


Fig. 2. Overzicht van de belangrijkste fasen nodig voor het verkrijgen van bedrijfszekere apparatuur.

gegevens beschikbaar worden gesteld over resultaten van metingen en beproevingen aan elektronische onderdelen verricht door één der IDEP-leden. De constructeur krijgt op deze wijze door hem gewenste gegevens van beproevingen welke veelal 'buiten' de specificaties vallen. De resultaten worden verspreid in de vorm van 'data sheets' waarvan er nu reeds meer dan 20 000 zijn. Een volledig keuringsrapport is in microfilm aangehecht. Fig. 1 geeft een voorbeeld van de vorm van een 'data sheet'. Canada is sinds 1965 aangesloten bij IDEP.

Frankrijk kent een systeem analoog aan IDEP. Circa 1200 overzichtskaarten – 'Fiches de Fiabilité' – zijn samengesteld aan de hand van gegevens verstrekt door ca. 20 aangesloten leden, die elk minimaal 20 rapporten per jaar moeten inbrengen. Het 'Centre de Fiabilité', ressorterende onder de PTT beheert het systeem.

In Zweden verstrekt het Zweedse Militaire Laboratorium FTL (Försvarets Teletekniska Laboratorium) gegevens van onderdelen op een wijze analoog aan die van de beide eerder genoemde. Zweden plaatst echter ook onderdelen waarvan de keuringsresultaten niet aan de Zweedse eisen voldoen op bepaalde lijsten.

Door Zweden is sinds 1962 getracht, gezien de activiteiten in de verschillende landen, onder de overkoepelende samenwerking van OECD (Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling = OESO) ter voorkoming van duplicering, een internationaal 'data-exchange'-programma op te zetten genaamd EXACT (International Exchange of Authenticated Testdata of Electronic Components), min of meer volgens het IDEP-model. Onder meer door het ontbreken van gelijkluidende specificaties in de verschillende landen is dit plan niet geheel gelukt en beperkt gebleven tot Noorwegen, Denemarken en een Zwitserse firma. De mogelijkheid van uitbreiding tot andere landen is echter nog steeds aanwezig. Het secretariaat is gevestigd in Stockholm bij FTL.

Hiermede is een beknopt overzicht gegeven van wat momenteel verricht wordt om te komen tot bedrijfszekere apparatuur. In fig. 2 is nog een overzicht gegeven van de belangrijkste fasen.

Rest mij nog te zeggen dat verbetering van de betrouwbaarheid steeds meer de belangstelling trekt en bestudering van de mogelijkheden zowel door industrie als militaire technici geschiedt.

Huidige ontwikkeling op het gebied van elektronische onderdelen in Europa

In Engeland werd in 1963 een comité geïnstalleerd onder voorzitterschap van Rear Admiral Burghard, die zijn naam gegeven heeft aan het zgn. 'Burghardplan', waarbij een 'System of Common Standards' werd geïntroduceerd zowel voor de militaire als voor de civiele professionele gebruiker van elektronische onderdelen. Onder auspiciën van het Ministry of Technology werd het British Standard Institution (BSI) belast met de praktische uitvoering. De onder dit systeem op te stellen specificaties zullen de aanbevelingen van het Internationale Electrotechnisch Comité (IEC) zoveel mogelijk volgen en derhalve naar verwachting ook buiten Engeland bruikbaar zijn.

Door massaproduktie van onderdelen en keuring volgens algemeen geldende eisen meent men groot economisch voordeel te kunnen verkrijgen, terwijl uit deze keuringsdata bedrijfszekerheidsgegevens door cumulatie van gegevens uit langdurige beproevingen beschikbaar komen. Deze zouden in 'Certified Test Records' (CTR's) worden vermeld. De specificaties zullen opgesteld worden in verschillende 'BSI-committees' terwijl de keuring zal geschieden door de militaire keuringsdienst die hiertoe enigszins is gereorganiseerd.

In het algemeen zullen drie groepen specificaties ontstaan, nl.: general, voor algemene toepassing; special, met iets zwaardere eisen voor speciale toepassingen en commercial, voor commerciële professionele toepassing waarvoor de eisen iets lichter zijn.

Evenals het MIL-systeem kent men 'Qualification Approvals' en 'QPL's'. Produktie-controle wordt evenals in de USA door 'resident inspectors' voor de grote bedrijven en door 'roving inspectors' voor bepaalde rayons uitgeoefend. Evenals in Frankrijk zullen onder het systeem gefabriceerde en gecontro-

Tabel 3. Overzicht van de organisatievormen in een aantal West-Europese landen.

Organisatie	Engeland	Frankrijk	Duitsland	Nederlandse overeenkomstige lichamen
Autoriteit	Ministry of Technology	Premier Ministre	Wirtschaftsministerium	Ministerie van Economische Zaken
Uitvoering	British Standards Institution (BSI)	Comité de Coordination des Télécommunications (CCT)	Deutscher Normenausschuß (DNA)	Nederlandse Keuringsraad voor elektronische componenten (NKR)
Supervisie	Electrical Inspectorate Division of Min. of Technology (EID)	Laboratoire Centrale des Industries Electroniques (LCIE)	Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE)	Keuringsbureau (KB)
op Typekeuring door	Manufacturer's Inspectors	LCIE	VDE Prüflabor	KB(KEMA)
en Kwaliteitscontrole door	Manufacturer's Inspectors	Service de qualité du fabricant	DNA	Kwaliteitsorganisatie van de fabrikant
Specificaties op te stellen door	BSI Technical Committees	CCT	DNA	Specificatiebureau en Technische comité's van het Nederlands Electrotechnisch Comité (NEC)

leerde partijen worden voorzien van een bepaald merkteken. De standaardspecificatie is de BS-9000 (General requirements for electronic parts of assessed quality), die het systeem beschrijft en waarnaar het thans ook genoemd wordt.

Het uitvoerende comité van het BSI, het 'Telecommunication Industry Standards Committee' kent als leden de civiele overheid (Post Office, BBC, Railways, Ministry of Technology), de militaire overheid (R.Navy, R.Army en R.Airforce) en de industrie-organisaties.

De organisatie lijkt bijzonder veel op de Franse CCT (Comité de Coordination des Télécommunications). Wellicht dat daarom de Britse regering zich gewend heeft tot de Franse met het voorstel de systemen te harmoniseren. Ook Duitsland werd hiervoor uitgenodigd. Deze landen zijn dan ook in Europa de grootste gebruikers van elektronische onderdelen.

In 1967 zijn de 'TRIPARTITE'-besprekingen gestart tussen de genoemde landen, met het oogmerk de systemen en specificaties zoveel mogelijk gelijk te maken, waarbij volledige wederzijdse erkenning van organisaties wordt nagestreefd, zodat keuringen verricht in één van de landen door de beide andere geheel geaccepteerd worden, waardoor leveranties op de Europese markt eenvoudig kunnen plaatsvinden.

Uitbreiding van 'TRIPARTITE' met Nederland, België en Italië zal een volgende stap zijn. Hiervoor is het echter nodig dat deze landen beschikken over gelijksoortige nationale organisaties, hetgeen tot nu toe niet het geval is. Hierdoor zouden deze laatstgenoemde landen geheel buiten de Europese organisatie kunnen komen te vallen ware het niet dat door de fabrikantenorganisaties in alle genoemde landen t.w. de CEMAC (Committee of European Association of Manufacturers of Active Electronic Components) en de CEPEC (Committee of European Association of Manufacturers of Passive Electronic Components) door hun voorzitters, die aan de 'TRIPARTITE'-besprekingen deelnemen, zodanige invloed kan worden uitgeoefend dat een goede samenwerking in de toekomst gewaarborgd kan zijn. De CEMAC en de CEPEC zijn thans ook officieel uitgenodigd door 'TRIPARTITE' om aan besprekingen deel te nemen. Daarnaast is Nederland uitgenodigd bilateraal contact met Engeland te onderhouden.

Nederlandse situatie

Hoe zou een Nederlandse organisatie er uit moeten zien om door de reeds bestaande buitenlandse groeperingen te worden erkend?

In tabel 3 ziet U een overzicht van de opbouw van de Engelse, Franse en Duitse organisaties. De basisvorm van elk is gelijk, t.w. een comité nationaal belast met de uitvoering, met daaronder groeperingen om specificaties op te stellen voor de betreffende groep onderdelen, alsmede een keuringsdienst. Een secretariaat verzorgt de nodige administratieve handelingen als registratie en uitgifte van specificaties, QPL's, vergaderingsverslagen, correspondentie enz.

In Nederland bestaat voor militaire specificaties een organisatie ressorterende onder de Materieelraad waarbij in interserviceverband vaststelling van specificaties plaatsvindt. In overeenkomstige NATO-groeperingen is het mogelijk via NATO-aanbevelingen specificaties – ook US MIL specs – te harmoniseren.

Het verlenen van typegoedkeuring in Nederland voor militaire onderdelen geschiedt door de Centrale Militaire Keuringsraad voor Electrisch en Electronisch Materieel (CMKEEM), ressorterende onder de Materieelraad. De Nederlandse Militaire

QPL is de MMR-26. Hierin opgenomen Q.A.'s kunnen onder bepaalde voorwaarden overgenomen worden door andere NATO-landen.

Voor civiele onderdelen bestaat een dergelijke organisatie echter niet. Indien Nederland aan een eventueel op te richten Europees systeem zou willen meedoen, zouden organisaties, analoog aan die in Engeland met de uitvoering belast dienen te worden. Besprekingen hierover worden thans gevoerd. Tabel 3 geeft een mogelijke samenstelling weer.

In hoeverre echter Nederland aan een systeem van 'European Standards' zal willen medewerken dient mede op economische motieven te worden overwogen. Op grond van technische overwegingen kan een nationaal systeem alleen de bedrijfszekerheid bevorderen.

Uit het NERG

Administratie van het NERG: Postbus 39, Leidschendam. Giro 94746 t.n.v. penningmeester NERG, Leidschendam. Secretariaat van de Examencommissie-NERG: van Geusaustraat 151, Voorburg.

In Memoriam Everardus van Eldik

Op 26 februari 1969 is op Bonaire plotseling overleden de heer Everardus van Eldik, waarnemend Hoofd van de Technische Dienst van Radio Nederland Wereldomroep. Dat was vrijwel aan de vooravond van zijn 58ste verjaardag en meer nog aan de vooravond van een evenement, waaraan hij de laatste jaren van zijn onbaatzuchtige leven geheel had gewijd: de officiële opening van het reusachtige korte-golfzenderpark van de Wereldomroep bij Barcaderea op het eiland Bonaire.

De heer van Eldik werd op 19 maart 1911 in Den Haag geboren en in die stad genoot hij ook zijn opleiding. Via het bedrijfsleven – Siemens & Halske en de Rijswijkse Radiocentrale – trad hij in dienst van de PTT. Daarna was hij een tijdlang werkzaam aan de Academie van Beeldende Kunsten en Technische Wetenschappen te Rotterdam, om tenslotte, op 1 november 1938, in dienst te treden van de radio-omroep in Nederland en wel bij de AVRO. Na de oorlog maakte hij de gang mee via Herrijzend Nederland en Radio Nederland in Overgangstijd naar Radio Nederland Wereldomroep. Van deze laatste stichting was hij dus een man van het eerste uur.

Zijn fenomenale kennis van het medium 'korte golf' bracht hem al spoedig allerlei speciale opdrachten. Zo was het Van Eldik die geheel verantwoordelijk was voor de technische inrichting van het nieuwe gebouw van de Wereldomroep, een ongehoorde taak die hij op bewonderenswaardige wijze heeft volbracht. Ook werd hij als expert voor de PTT uitgekozen om Nederland te vertegenwoordigen op internationale korte-golfconferenties.

Hij is heengegaan op het hoogtepunt van zijn carrière. Een groot verlies niet alleen voor zijn familie en voor zijn vele vrienden, die zich behalve zijn grote technische kennis vooral zijn menselijke warmte, zijn aura van goedheid zullen blijven herinneren, maar zeker ook voor de radiotechnische wereld van Nederland.

Henk Koops.

Onderscheiding van het Veder-fonds voor A. de Jong

Het Bestuur van de Stichting Wetenschappelijk Radiofonds Veder heeft met algemene stemmen het besluit genomen een onderscheiding toe te kennen aan de heer A. de Jong voor zijn verdienstelijke bijdragen aan het onderzoek van radiostoringen; in het bijzonder aan het vergelijkend onderzoek van meetmethoden boven 30 MHz. De onderscheiding heeft ditmaal de vorm gekregen van een bedrag in geld, vergezeld van een waarderend schrijven van de voorzitster van de Stichting.

De lezers van dit Tijdschrift hebben in het novembernummer 1968 een uiteenzetting van de heer de Jong over 'Het meten van radiostoringen boven 30 MHz' kunnen aantreffen (blz. ET 161-165). (1) Een verslag van een interessant onderzoek over de meting van de hinderlijkheid van impulsachtige storingen bij televisie werd door hem gegeven in een artikel in 'Het P.T.T. Bedrijf' van maart 1969, blz. 112-122: 'Impulsive Interference in television transmissions'.

De heer de Jong, die sinds enige jaren de leiding heeft van het radiostoringsonderzoek aan het Dr. Neher Laboratorium in Leidschendam, is ook de Nederlandse vertegenwoordiger in de werkgroepen 1 en 5 van het C.I.S.P.R.: Werkgroep 1 behandelt meetinstrumenten en meetmethoden, en Werkgroep 5 radio- en televisie-ontvangers. Van zijn bijdragen aan het internationale onderzoek noemen we:
'Investigations made on the earth-current method' (1967), 'Terminal voltage measurement of radio frequency interference in the VHF range by means of slotted coaxial filters', (1967), 'Comparison between methods of measuring radio interference in the VHF range caused by domestic appliances', (1967), 'Correlation between C.I.S.P.R. and non C.I.S.P.R. measuring apparatus', (1967), 'Investigations on absorbing clamps', (1968), 'Chassis radiation measurements', (1968). Ook op het gebied van de radiostoringen veroorzaakt door ontstekingsmotoren heeft de heer de Jong eigen bijdragen geleverd en Nederland in internationale bijeenkomsten vertegenwoordigd.

Het is verheugend, dat op dit werk, dat internationaal reeds de aandacht trok door zijn degelijke, wetenschappelijke opzet, thans ook nationaal op zo eervolle wijze de aandacht is gevestigd.

Vakantie-leergang 'Telecommunicatie via satellieten'

De afdeling voor Elektrotechniek van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs organiseert in samenwerking met de Sectie voor Telecommunicatietechniek en in overleg met het NERG op donderdag 29 en vrijdag 30 mei 1969 een vakantie-leergang te Delft met bovenstaande titel. De voordrachten zullen worden gehouden in het collegezalencomplex van de Afdeling der Elektrotechniek der Technische Hogeschool Delft, Mekelweg 4. NERG-leden kunnen aan deze leergang deelnemen.

De tien voordrachten zijn te verdelen in drie groepen: I ... III zijn van theoretisch-technische aard, IV ... VII dragen een meer toegepast technisch en beschrijvend karakter, terwijl

VIII ... X van organisatorische aard zijn. Het programma is zodanig samengesteld dat diegenen, die geen diepgaand technische interesse bezitten, maar wel een algemene indruk willen krijgen van mogelijkheden en inspanningen op het gebied van de satellietcommunicatie, kunnen volstaan met alleen vrijdag de voordrachten bij te wonen.

Het voorlopige programma luidt als volgt:

Donderdag 29 mei

- 10.30 uur: Ontvangst van de deelnemers
- 11.00 uur: Opening door de voorzitter van de Afdeling
- 11.05 uur: I. *Enkele theoretische concepten*
- 11.50 uur: II. *Transmissieproblemen*
- 12.35 uur: Lunchpauze
- 13.40 uur: III. *Het systeemontwerp*
- 14.25 uur: IV. *Het Nederlandse grondstation*
- 15.10 uur: V. *Antenneconfiguratie en radomes.*

Vrijdag 30 mei

- 10.30 uur: Ontvangst en koffie
- 11.00 uur: VI. *Mechanische problemen van de ontvangstantenne*
- 11.45 uur: VII. *De satelliet*
- 12.30 uur: Lunchpauze
- 13.45 uur: VIII. *Verkeersorganisatie*
- 14.30 uur: IX. *Internationale aspecten*
- 15.15 uur: Theepauze
- 15.35 uur: *Toekomstbeeld*
- 16.10 uur: Discussie
Samenvatting
- 16.30 uur: Sluiting door de voorzitter van de Afdeling.

Voordrachtenreeks 'Milieutechniek en bedrijfszekerheid'

De Sectie voor Milieutechniek zal in samenwerking met de Sectie voor Telecommunicatietechniek, de Afdeling voor Krijgskundige Techniek en de Afdeling voor Regeltechniek van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs een voordrachtenreeks met bovengenoemde titel organiseren. Op deze gezamenlijke bijeenkomsten van de Afdelingen en Secties zijn ook de NERG-leden van harte welkom.

Het onderwerp voor de eerste bijeenkomst van deze serie luidt 'Inzicht in bedrijfszekerheidsgegevens'. Het programma vermeldt de volgende onderdelen:

- 14.00 uur: Opening
Ir. G. L. Reijns (ESTEC): *Wiskundige begrippen in de bedrijfszekerheid.*
- 15.15 uur: Pauze
- 15.30 uur: P. de Winter (Philips Elcoma): *Praktische aspecten van de bedrijfszekerheid van elektronische onderdelen.*

Deze eerste bijeenkomst vindt plaats op vrijdag 2 mei 1969 in het Gebouw voor Werktuigbouwkunde, Mekelweg 2, Delft. NERG-leden die deze vergadering willen bijwonen worden verzocht zich voor 25 april op te geven bij: Secretaris van de Sectie voor Milieutechniek, ir. H. Maseland, Huizingalaan 121, Utrecht. Tel. 030-71 52 14.

Ledenmutaties

Voorgestelde leden

Ir. A. Bakker, Jan Steenlaan 18, Oegstgeest.
Ir. J. A. M. de Brouwer, Lijsterbesstraat 14, Nuenen.
Ir. J. Götz, Cornelis Jolstraat 6, Den Haag.
Ir. H. M. Hoeksema, Merkelbachlaan 13, Eindhoven.

Nieuwe adressen van leden

Ir. J. F. van der Brugge, Achter de Hoven 2, Dwingeloo.
Ir. J. C. A. van Gessel, Van Beeckstraat 17, Zoetermeer.
M. van Sliedrecht, Lumeystraat 21, Zoetermeer.

In verband met de buitengewone omvang van het NLR-Jubileumnummer (nr. 14 van 4 april) en het daaropvolgende speciale 'Hoek van Holland-nummer' bevat deze uitgave van *De Ingenieur* (nr. 16 van 18 april) naast een normaal 'Algemeen Gedeelte' slechts één 'Technische Afdeling' i.p.v. twee. *Red.*